УДК 622.83:504: 338.4

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ*

М. Д. Молев, С. А. Масленников

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета г. Шахты, Россия

2playrnd14716@aaanet.ru
maslennikovsa@mail.ru

Целью работы является описание результатов научных исследований в области обоснования организационно-технических мероприятий при реструктуризации угольной отрасли. Исследуется вопрос прогнозирования экологической безопасности в процессе ликвидации шахт. Доказано, что комфортная экологическая ситуация на исследуемой территории может быть обеспечена при формировании производственной программы, учитывающей результаты комплексного изучения объекта и его взаимосвязи с внешней средой. В качестве научного обоснования программы мероприятий предлагается использование системного анализа и прогностики. Авторами установлены основные факторы негативного воздействия на безопасность жизнедеятельности населения и сформулированы требования к прогнозной системе. Изложены сведения о внедрении методологии прогнозирования в практику ликвидационных работ на территории Российского Донбасса.

Ключевые слова: прогнозирование, экологическая безопасность, ликвидация, методоло-

UDC 622.83:504: 338.4

FORECASTING IN THE SYSTEM OF ECOLOGICAL SAFETY OF THE REGION IN THE LIQUIDATION OF COAL MINES**

M. D. Molev, S. A. Maslennikov

The Institute of service sector and entrepreneurship (branch) Don State Technical University
Shakhty, Russia

2playrnd14716@aaanet.ru
maslennikovsa@mail.ru

The aim of this work is the description of the results of scientific research in the field of substantiation of organizational-technical measures in restructuring the coal industry. Much attention is focused on the prediction of ecological safety in the process of mines liquidation. It is shown that a comfortable environmental situation in the area can be secured by creation of the production program considering the results of a comprehensive study of the object and its interaction with the external environment. As the scientific justification of the programme of activities the authors propose to use system analysis and prognostication. The authors have determined the main factors of negative impact on life safety of the population and requirements for a predictive system. In conclusion they provided the information on the implementation of the forecasting methodology in liquidation works in the Russian Donbass.

Keywords: forecasting, environmental safety, liquidation, methodology, system analysis,

* Представленные исследования выполнены в рамках Госзадания Минобрнауки России №1.10.14 по теме «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии освоения подземного пространства на основе комплексного мониторинга всех стадий жизненного цикла инженерных объектов и систем» и гранта МК-6986.2015.8 по теме «Разработка инновационных конструктивных и технологических решений при креплении вертикальных стволов шахт и рудников.

** The presented research was performed within the framework of state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 1.10.14 on the topic "Resource-saving and ecologically safe technologies of underground development on the basis of comprehensive monitoring of all the life cycle stages of the engineering objects and systems", grant MK-6986.2015.8 on the topic "Development of innovative constructive and technological solutions for the vertical shaft walling in mines".

гия, системный анализ, синтез, мониторинг.

Введение. Переход российской экономики в девяностые годы двадцатого века на рыночные методы хозяйствования сопровождался масштабной реструктуризацией угольной промышленности. В настоящее время на 168 шахтах Российской Федерации завершены организационно-технические работы по ликвидации. Так, на территории Ростовской области в этот период было закрыто 47 из 58 угольных предприятий [1].

Закрытие неперспективных шахт сопровождается, как показывает опыт реализации программы оздоровления угольной отрасли, изменением характера проявления негативных процессов, имевших место при эксплуатации предприятий. Структурно-техногенное изменение углепородного массива прекращается, но прочие виды отрицательного воздействия на окружающую среду продолжаются, а некоторые процессы со временем активизируются. Ликвидация угольных шахт сопровождается возникновением принципиально новых явлений и процессов, которые не наблюдались в период эксплуатации предприятий и оказывают значительное негативное влияние на экологическую безопасность региона [2–5]. Среди них выделяются следующие воздействия:

— масштабное загрязнение подземных водоносных горизонтов и речной сети, находящихся в зоне влияния шахт;

— подтопление прилегающих территорий, в том числе населенных пунктов;

— неуправляемое выделение вредных газов из ликвидированных горных выработок в воздушную среду;

— деформации дневной поверхности;

— негативное изменение состояния почвенного покрова в результате поднятия уровня грунтовых вод.

Итогом этих процессов является практически необратимое загрязнение почвы и поверхностных водоемов минеральными солями, тяжелыми металлами и другими вредными веществами; интенсификация сдвижения литосферы и

synthesis, monitoring..

Introduction. The transition of the Russian economy in 1990s to the market economy was followed by large-scale restructurisation of the coal industry. Currently, the abandonment organizational-technical work is completed in 168 mines of the Russian Federation. So, on the territory of Rostov region 47 of the 58 coal mines were closed during this period. [1].

According to the experience in implementation of the programme of rehabilitation of the coal industry the closure of unpromising mines is accompanied by the changes of nature of negative processes occurring in the enterprises operation. Structural-technological changes in coal-rock mass are stopped but other negative impacts on the environment continues, and some processes are activated. Abandonment of coal mines is followed by the emergence of fundamentally new phenomena and processes, which was not observed in the period of enterprises operation and has a significant negative impact on ecological security of the region [2-5]. Among them are the following effects:

— large-scale pollution of underground aquifers and the river network in the zone of influence of the mines;

— flooding of adjacent territories, including human settlements;

— uncontrolled release of harmful gases from abandoned mine workings into the air;

— deformation of the ground surface;

— adverse change in the condition of a soil cover as a result of raising the groundwater level.

The result of these processes is almost irreversible pollution of ground and surface waters with mineral salts, heavy metals and other harmful substances; intensification of move-

земной поверхности, вытеснение вредных газов из выработанного пространства в атмосферу. На земельных отводах закрываемых шахт остаются различные накопители твердых и жидких отходов угледобычи: терриконы, шламонакопители, отстойники, занимающие обширные территории и являющиеся довольно серьезными источниками загрязнения гидросферы и атмосферы региона.

Детальная оценка ситуации позволяет определить ликвидацию шахт как приоритетный источник негативного влияния на безопасность угледобывающих регионов (рис. 1).

ment of the lithosphere and the earth's surface, the release of the noxious gases from the abandoned workings into the atmosphere. On the land allotments of mine closures there remain different storage elements of solid and liquid coal waste: waste heaps, sludge pits, lagoons, which occupy a vast territory and are quite serious sources of pollution of the hydrosphere and atmosphere of the region.

A detailed assessment of the situation makes it possible to define mines abandonment as a priority source of negative influence on safety in coal-producing regions (Fig. 1).

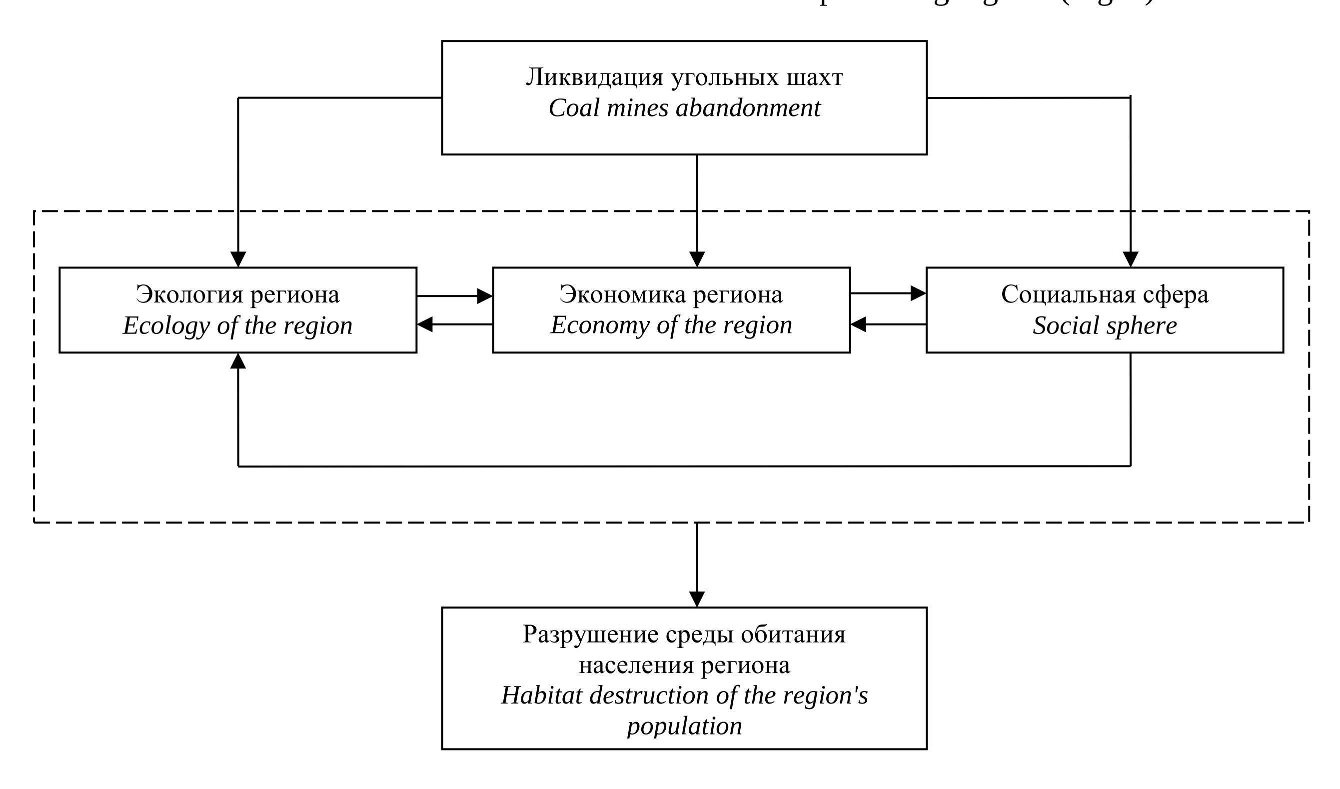


Рис. 1. Негативное воздействие ликвидации угольных шахт на регион
Fig. 1. The negative impact of coal mines abandonment in the region

Глобальная проблема региональных органов власти заключается в том, чтобы в продолжающемся процессе ликвидации угольных шахт обеспечить комфортные условия для жизнедеятельности населения шахтерских территорий и минимизировать негативные воздействия возникающих техногенных факторов на окружающую природную среду. Достижение указанных целей предполагает решение следующих научно-технических задач:

— выявление природных и техногенных фак-

Global problem of the regional authorities is to provide in the ongoing process of coal mines abandonment comfortable conditions for the life of the population of mining areas and to minimize negative impacts of the occurring technogenic factors on the environment. The achievement of these objectives implies the solution of the following scientific and technical objectives:

— identification of natural and technogenic

торов, определяющих характер и масштабы экологических последствий ликвидации шахт;
— объективная оценка роли выявленных факторов на различные процессы, протекающие в литосфере, гидросфере и атмосфере;
— обоснование и разработка оптимального комплекса методов и методик геоэкологических наблюдений;
— формирование программы технических мероприятий, направленных на предотвращение или минимизацию негативного влияния ликвидационных работ.

Характер указанных процессов в каждом угледобывающем регионе имеет специфические особенности, поэтому применение для закрытия шахт стандартных методик и технологий может привести к экологическим происшествиям и даже катастрофам, в качестве примера которой можно привести неуправляемое затопление шахты «Западная-капитальная» (Ростовская область). В связи с возникающими научными и технико-технологическими неопределенностями необходимо выполнять научное обоснование проекта ликвидации, в том числе перспективное прогнозирование состояния техносферы в регионе. Результаты научно-исследовательских работ по вопросам, объединенным темой реструктуризации угольной отрасли, в частности, по прогнозированию экологической безопасности, являются актуальными в настоящее время и в перспективе, потому что перманентные изменения в структуре шахтного фонда не прекращаются. Анализ научных публикаций по рассматриваемому вопросу показывает, что отсутствуют работы, в которых системно представлена теория и практика подготовки организационно-технических мероприятий по ликвидации угольных шахт, поэтому авторы статьи считают целесообразным изложить результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Методология теоретических и экспериментальных исследований. Методология формирует характерное для современного этапа научно-технического развития тесное пере-

factors that determine the nature and scale of ecological consequences of mines abandonment;
— objective assessment of the role of the identified factors on various processes occurring in the lithosphere, hydrosphere and atmosphere;
— substantiation and development of optimal complex of methods and techniques of geo-environmental observations;
— formation of the program of technical measures aimed at preventing or minimizing the negative impact of abandonment work.

The nature of the processes in each coal producing region has specific features; therefore the application of standard methods and technologies for mine closure can lead to environmental incidents and even accidents, which, as an example, can result in uncontrolled flooding of mine "Zapadnaya-kapital'naya" (Rostov region). Taking into consideration the emerging scientific and technological uncertainties it is necessary to perform a scientific study of mines abandonment project, including long-term forecasting of the technosphere state in the region. The research results on the issues of coal industry restructuring, in particular, on the prediction of ecological security are very topical at present and in the future, because permanent changes in the structure of mining do not stop. The analysis of scientific publications on the subject shows that there are no works that systematically presents the theory and practice of preparation of organizational and technical measures for abandonment of coal mines, so the authors consider it appropriate to present the results of theoretical and experimental studies.

The methodology of theoretical and experimental research. The methodology forms characteristic of the present stage of scientific and technological development network of elements of science and practice in solving

плетение элементов науки и практики при решении такой крупной комплексной проблемы, как разработка мероприятий по защите ОПС на стадии ликвидации убыточных угольных шахт в России. По мнению авторов, обоснование экологизированных организационно-технических решений должно базироваться на следующих теориях: системного анализа и синтеза, исследования операций, прогностики. При этом объективный научный прогноз состояния экологической безопасности в угольном регионе является основной информацией для принятия управленческих решений по программе ликвидации угольных шахт.

Исходным пунктом формирования используемой методологии является базовая научная теория, рассматривающая шахты совместно с окружающей средой в качестве сложной динамической природно-технической системы (ПТС). Все объекты и элементы указанной «большой» системы с учетом многообразия технологических процессов и исполнителей, а также организационных форм, связаны между собой определенными отношениями и находятся в постоянном и противоречивом взаимодействии. Процесс обеспечения экологической безопасности следует рассматривать также как сложную организационно-технологическую систему. Структура рассматриваемой системы состоит из множества компонентов, формирующихся исходя из их функциональных характеристик и взаимоотношений в процессе функционирования системы в целом [6–10]. Одним из основных условий успешного решения проблемы является соответствие применяемых методов исследования сложности анализируемой системы. Анализ публикаций [11–13] показал, что эффективность системного подхода подтверждена практикой разработки сложных систем и результатами их внедрения в различных отраслях народного хозяйства. Структура системного анализа направлена на то, чтобы сосредоточить главные усилия на сложных и, как правило, крупномасштабных проблемах, не поддающихся решению более простыми исследованиями, например, наблю-

such a large complex problem, as the development of measures to protect the environment at the stage of abandonment of unprofitable coal mines in Russia. According to the authors, the rationale of ecologically sound organizational and technical solutions should be based on the following theories: system analysis and synthesis, operations research, forecast. And the objective scientific forecast of the state of the environmental safety in the coal region is the basic information for making management decisions on the program of coal mines abandonment.

The starting point of formation of the used methodology is the basic scientific theory, which considers mines together with the environment as a complex dynamic natural-technical system (NTS). All of the objects and the elements of the specified "big" system, taking into account the diversity of technological processes and performers, as well as organizational forms, are bound together by certain relations and are in constant and contradictory interaction. The process of ensuring environmental safety should also be considered as a complex organizational and technological system. The structure of the system under consideration consists of multiple components, formed on the basis of their functional characteristics and relationships in the functioning of the system as a whole [6-10]. One of the main conditions of successful problem solving is a compliance of the applied research methods to the complexity of the analyzed system. The analysis of the publications [11-13] showed that the efficiency of the system approach is confirmed by practice in the development of complex systems and the results of their implementation in various sectors of the economy. The structure of the system analysis is aimed at focusing the main efforts on the complex and typically large-scale problems which cannot be solved by simpler investigations, for example observation. For the

дением. Для практической реализации разработанной теории использовался интегрированный системный анализ (ИСА), который включает в себя анализ стратегической, морфологической, функциональной и генезисно-прогностической страт эталонной системы и сравнение их с аналогичными стратами реальной ПТС. Применение ИСА позволяет улучшить целеполагание в исследованиях системы, используя такие важные системные свойства, как синергетический эффект, эмерджентность, мультипликационный эффект, открытость и адаптивность.

Использование теории исследования операций обусловлено тем, что ее методы позволяют получить решения, наилучшим образом отвечающие целям организации технологических процессов ликвидации шахт. Так, основной постулат теории исследования операций гласит, что оптимальное решение есть набор значений переменных, при котором достигается оптимальное значение целевой функции операции и соблюдаются заданные ограничения.

Основным критерием эффективности ликвидационных работ является безопасность жизнедеятельности населения территории и необходимый уровень экологии окружающей среды, поэтому органам управления регионом и общественности чрезвычайно важно знать состояние ПТС в краткосрочной и долгосрочной перспективе. Таким образом, необходимо выполнять комплексное научное прогнозирование, заключающееся в полномасштабном и достоверном представлении условий жизни людей при осуществлении ликвидационных мероприятий. Для повышения достоверности информации предлагается в комплексе с системным анализом и исследованием операций использовать методологию прогностики, которая содержит законы и способы разработки прогнозов развития динамических систем. Прогнозирование экологической безопасности угольных регионов, по мнению авторов, должно опираться на интегрированный системный анализ в связи с вышеуказанным

practical implementation of the developed theory the authors used an integrated systems analysis (ISA), which includes the analysis of strategic, morphological, functional and genesis-prognostic strata of the standard system and their comparison with similar real NTS strata. The use of ISA makes it possible to improve goal-setting in studies of the system using such important system properties as synergistic effect, emergence, multiplier effect, openness and adaptability.

The use of the theory of operations research is due to the fact that its methods allow obtaining the solutions that best meet the objectives of the organization of technological processes of liquidation of mines. So, the main idea of the theory of operations research says that the optimal solution is the set of variable values for which an optimal value of the objective function of the operation is reached and the specified limits are observed.

The main effectiveness criterion of abandon operations is the safety of life of the population and the level of environmental ecology, therefore, it is extremely important that regulatory bodies of region and community know the status of NTS in the short and long term. Thus, it is necessary to perform complex scientific forecasting, which consists of the full and authentic understanding of the living conditions of the people in the implementation of abandon operations. To improve the reliability of information it is along with the system analysis and operations research to use a methodology of prognostics, which contains the laws and methods of forecasts development of dynamic systems development. According to the authors the prediction of the environmental safety of the coal regions should be based on integrated system analysis because of the above mentioned principle of the complexity of the analyzed systems and

принципом соответствия сложности анализируемых систем и методов ее оценки. Суть ИСА природно-технических систем можно определить, как метод «двойного комплекса», т.е. исследование и оценку комплекса параметров, характеризующих текущую безопасность региона, комплексом инструментальных и математических методов.

Вышеописанная позиция представляется логичной и обоснованной, потому что динамику ПТС формируют свыше двадцати источников геомеханического, геологического, физико-химического и гидрогеологического характера, которые находятся в перманентном взаимодействии. Предлагаемую конфигурацию методологии исследований, являющейся основой научного сопровождения мероприятий по ликвидации угольных шахт в России, объединяет в общую систему целевая функция оценки риска. Риск в рассматриваемом контексте — количественная оценка устойчивости различных компонентов окружающей среды и возможности необратимого разрушения среды обитания населения. При этом каждый его вид обуславливают характерные источники и факторы риска. Так, экологический риск выражает вероятность экологического бедствия, катастрофы, нарушения дальнейшего нормального функционирования и существования экосистем и объектов в результате антропогенного вмешательства в природную среду или стихийного бедствия. Нежелательные события экологического риска могут проявляться как непосредственно в зонах вмешательства, так и за их пределами.

Изложенная методология обеспечивает полный комплекс исследования негативного воздействия процессов, сопровождающих ликвидацию угольных шахт: выявление и идентификацию опасных факторов, их качественную и количественную оценку, динамику состояния техносферной безопасности в перспективе. Концептуальная схема оценки и управления потенциальным экологическим риском в региональной ПТС продемонстрирована на рис. 2.

methods of assessment. The essence of natural-technical systems ISA can be defined as the method of "double complex", i.e. the research and evaluation of complex settings that characterize the current safety of the region, the complex of instrumental and mathematical methods.

The above mentioned position seems logical and reasonable, because the dynamics of NTS is formed from more than twenty sources of geomechanical, geological, physical, chemical and hydrogeological nature, which are in permanent interaction. The objective function of a risk assessment unites the proposed methodology research configuration in a system, which is the main scientific support of measures on coal mines abandonment in Russia. Risk in this context is the quantitative assessment of the sustainability of various components of the environment and the possibility of irreversible destruction of the habitat of the population. And each kind of characteristic determines specific sources and risk factors. So, environmental risk expresses the probability of environmental disasters, catastrophes, violations of the normal functioning and existence of ecosystems and objects as a result of human intervention in the natural environment or natural disasters. Undesirable events of ecological risk may occur directly in the areas of intervention and beyond.

The methodology provides a full range of negative impact studies of processes accompanying coal mines abandonment: detection and identification of hazardous factors and their qualitative and quantitative assessment, the dynamics of the state of technosphere safety in the future. Conceptual scheme of evaluation and management of potential environmental risks in regional NTS is shown in Fig. 2.

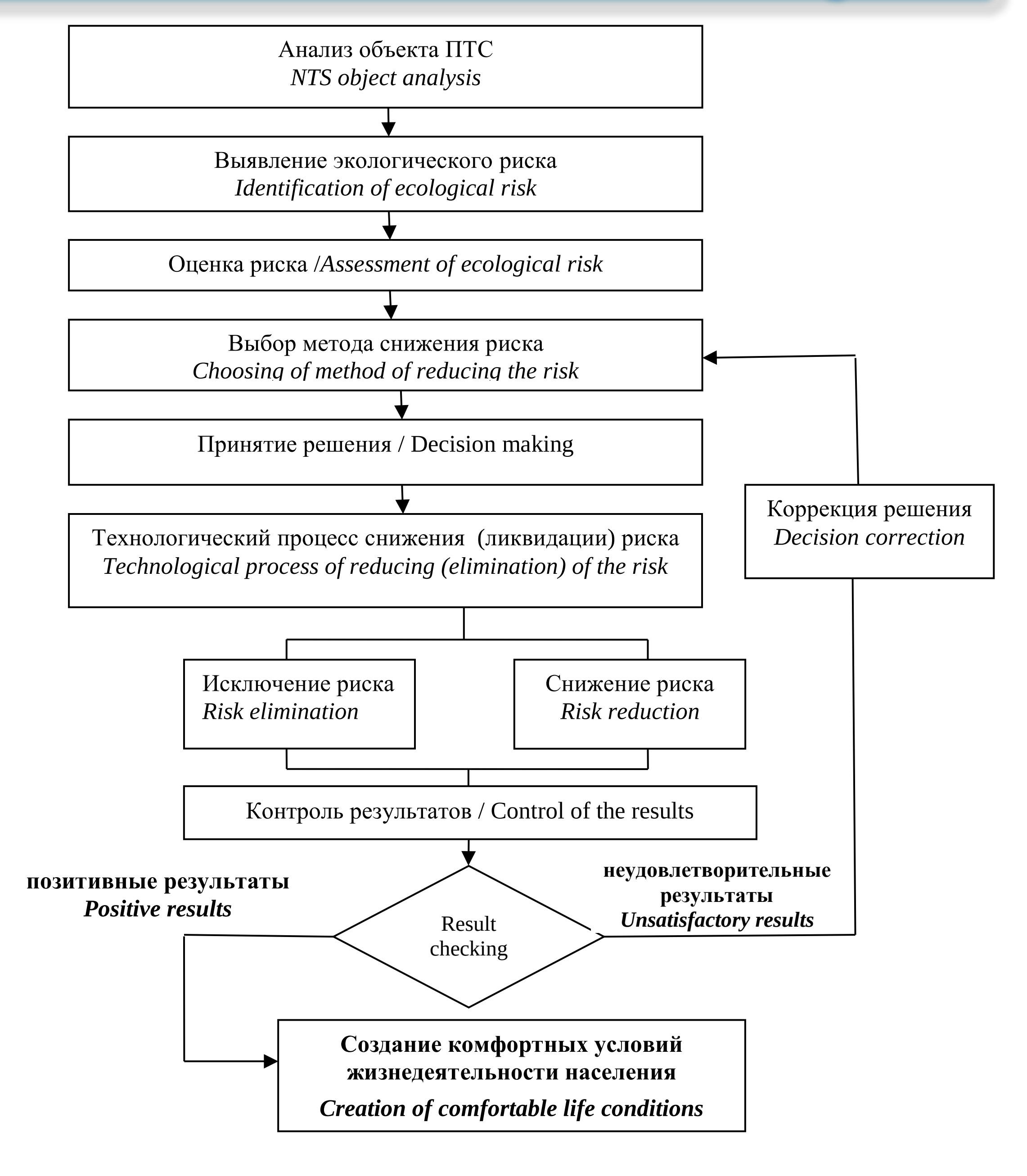


Рис. 2. Концептуальная схема оценки и управления экологическим риском
Fig. 2. Conceptual scheme of assessment and environmental risk management

Необходимо отметить, что эффективным инструментом прогнозирования, как показывает практика, является моделирование [14]. Оптимальный модельный комплекс при построении экологического прогноза должен включать следующие составляющие:

— модели объектов углепородного массива, модели воздушной и водной сред в пределах региона;

— модели различных геомеханических, гидрогеологических и других техногенных процессов;

It should be noted that as practice shows, the simulation is an effective forecasting tool [14]. The optimal model complex in the construction of ecological forecast should include the following components:

— object model of coal-rock mass, the model of air and water environments within the region;

— models of various geomechanical, hydrogeological and other technological processes;

— models describing measurement processes

— модели, описывающие процессы измерений и расчет сети наблюдений;
— эталонные модели экологически нормального состояния ПТС;
— экономико-математические модели оценки эффективности природоохранных мероприятий.

Результаты системного прогнозирования, выполненного в соответствии с изложенной методологией, будут представлять надежную информационную основу для разработки и реализации программы ликвидации угольных шахт. Характерной особенностью данной разработки является возможность разрешения всех научно-технических неопределенностей, связанных с недостаточными знаниями о взаимодействии загрязнений с человеком и компонентами ПТС.

Результаты исследований по разработке методики прогнозирования состояния техносферы. Авторами были выполнены экспериментально-теоретические исследования проблемы ликвидации шахт на территории Российского Донбасса (Ростовская область), являющегося типичным угольным бассейном нашей страны. В процессе изучения реальной ситуации установлен ряд факторов, определяющих геологические, гидрогеологические и экологические процессы на исследуемой территории. На основе анализа объемов и пространственного расположения объектов горных работ (горных выработок, выработанного пространства) в углепородном массиве была произведена оценка логистической взаимосвязи между ними. Согласно решению Минэнерго Российской Федерации, ликвидация неперспективных угольных шахт в регионах осуществляется способом полного затопления [7]. Следовательно, динамика подземных шахтных вод является основным фактором при оценке экологической безопасности ликвидационных работ. Результаты авторских исследований позволяют сделать однозначный вывод о формирования в выработанном пространстве техногенных водоаккумулирующих горизонтов, что подтверждается практикой гидрологиче-

and calculation of network observations;
— reference models of ecologically normal NTS condition;
— economic-mathematical effectiveness assessment models of environmental conservation activities.

The results of the system forecasting, made in accordance with the above mentioned methodology, will provide reliable information basis for the development and implementation of the program of coal mines abandonment. A characteristic feature of this is the ability to resolve all scientific and technical uncertainties related to insufficient knowledge about the interaction of the contaminants with the humans and components of NTS.

The research results of the development of methods of the technosphere state forecasting. The authors have performed experimental and theoretical studies of the problem of mines abandonment in Russian Donbass (Rostov region), a typical coal basin in our country. In the process of studying of the real situation they have determined a number of factors that determine geological, hydrogeological and ecological processes in the studied area. Basing on the analysis of the volume and spatial location of objects of mining operations (mine workings, goaf) in coal-rock mass, they estimated logistic relationships between them. According to the decision of the Ministry of Energy of the Russian Federation, unviable coal mines abandonment in the regions is carried out by total flooding [7]. Therefore, the dynamics of underground mine waters is a major factor in assessing the environmental safety of abandon operations. The results of investigations make it possible to draw an unambiguous conclusion about the formation in mined-out space of water accumulating technogenic horizons, as evidenced by the practice of hydrological observations.

ских наблюдений.

Динамика гидросферы в сочетании с другими техногенными и природными факторами оказывает негативное воздействие на окружающую природную среду и безопасность жизнедеятельности населения. В частности, затопление шахт инициирует нарушение сложившегося режима поверхностной и подземной гидросферы, заболачивания земель сельскохозяйственного назначения, выхода на поверхность так называемого «мертвого воздуха», загрязнения атмосферы выбросами породных отвалов. На территории угольных регионов имеется ряд глубинных разломов земной коры, что может привести к повышенным выделениям радиоактивного газа радона. Принимая во внимание состав шахтных вод, которые заполняют выработанное пространство (см. таблицу 1), можно прогнозировать реальную угрозу безопасности населения региона в случае неконтролируемого процесса.

The dynamics of the hydrosphere in combination with other anthropogenic and natural factors has negative impact on the environment and life safety of the population. In particular, the flooding of mines initiates the breakdown of the established regime of surface and underground hydrosphere, waterlogging of agricultural land, chokedamp coming to the surface, atmospheric pollution by emissions of waste dumps. At the premises of coal-mining regions there is a number of deep faults of the earth's crust, which may lead to the increased amount of radioactive gas radon emissions. Taking into account the composition of mine waters that fill the mined-out space (see table 1), it is possible to predict the real threat to the security of the region's population if an uncontrolled process occurs.

Таблица 1 / Table 1

Загрязненность дренажных вод ликвидируемых шахт ООО «Ростовуголь»
(по данным Шахтинской санэпидстанции)
Drainage water contamination of the abandoned "Rostovugol" mines
(according to Shakhty Sanitary & Epidemiological Service)

Шахты *Mine*	Содержание микроэлементов, мг/дм^3 Content of microelements, mg/dm^3								
	Pb	Cd	Li	Mo	Mn	Cr	Sr	Ti	Zn
«Глубокая» *«Glubokaya»*	0,005	0,015	0,455	0,03	1,35	0,025	6,8	0,05	0,05
им. Красина *im. Krasina*	0,003	0,005	2,6	0,02	2,8	0,02	5,0	0,06	0,1
«Майская» *«Mayskaya»*	0,003	0,045	0,34	0,035	0,02	0,013	9,5	0,1	0,1
«Мирная» *«Mirnaya»*	0,003	0,009	1,35	0,02	0,02	0,013	7,0	0,05	0,12
«Южная» *«Yuzhnaya»*	0,004	0,009	1,3	0,015	0,02	0,015	8,4	0,02	0,22

Динамика шахтных вод в случае полного затопления определяет условия переноса вредных веществ, содержащихся в углепородном массиве, а также миграции газов, состав-

Dynamics of mine waters in case of full flooding determines the conditions of transfer of harmful substances contained in coal-rock mass, as well as the migration of gases that

ляющих подземную атмосферу. Указанный вывод согласуется с мнением экспертного сообщества, в котором представлены специалисты в области подземной геологии, гидрогеологии и горной геомеханики из ведущих российских научно-исследовательских институтов и вузов [3–5, 7, 15].

Для установления пространственно-временных закономерностей затопления были проанализированы результаты измерений по 37 стволам 19 ликвидированных шахт Российского Донбасса. На основании анализа материалов сделаны следующие выводы:

1. Темпы повышения уровня и увеличения объема воды, накапливающейся в выработанном пространстве шахт бассейна, зависят от совокупного влияния геологических, гидрогеологических и горнотехнических условий, складывающихся на конкретно затапливаемых участках массива.
2. Скорость подъема уровня шахтных вод по отдельным шахтам колеблется в интервале (0,02–2) м/сут. При этом начальный этап затопления характеризуется более высокими значениями скорости. В приповерхностных горизонтах горного отвода темпы подъема уровня снижаются, что характеризует насыщение углепородного массива подземными водами.
3. Интегральная характеристика динамики затопления выработанного пространства шахт в пределах региона может служить максимально правдоподобным критерием для прогнозирования развития гидравлической ситуации на вновь закрываемых шахтах.

Анализ экспериментальных данных показывает, что кривые распределения подъема уровня шахтных вод от времени довольно четко разбиваются на три области. Экспериментальное распределение значений аппроксимируется с использованием метода наименьших квадратов параболической регрессией. Обобщение результатов по исследованным шахтам позволило выразить динамику затопления в виде следующего уравнения:

$$y=h_{нач}+26,04x-0,3833x^2, \quad (1)$$

make up the underground atmosphere. This conclusion corresponds to the opinion of the expert community, which includes specialists in the field of underground geology, hydrogeology and mining geomechanics from the leading Russian research institutes and universities [3-5, 7, 15].

To establish spatio-temporal flooding patterns the authors have analyzed the results of the measurements on 37 shafts of 19 abandoned mines in Russian Donbass. The following conclusions are based on the analysis of materials:

1. The increase rate of the level and water accumulation in mined-out space of the basin depend on the combined influence of geological, hydrogeological and mining conditions prevailing on the specific flooded areas of the solid mass.
2. The speed of mine waters rising in individual mines varies in the range of (0.02–2) m/day. The initial stage of flooding is characterized by higher values of velocity. In the surface horizons of the mining allotment, the level growth rate decreases, this characterizes the saturation of the coal-rock mass by groundwater.
3. An integral feature of flooding dynamics of mined-out space within the region may serve as the most reliable criterion to predict the development of the hydraulic situation in the newly closed mines.

Analysis of experimental data shows that the distribution curves of the rise of mine waters are quite clearly broken into three areas from time to time. The experimental distribution of values is approximated using the method of least squares of parabolic regression. The generalization of the results in the investigated mines made it possible to express the dynamics of flooding in the form of the following equation:

$$y=h_{нач}+26,04x-0,3833x^2, \quad (1)$$

где $h_{нач}$ — начальная глубина затопления, м; x — нормированное время.

Совместный анализ экспериментальных данных и горно-геологических условий других угольных бассейнов указывает на возможность использования описанного подхода к исследованию процессов затопления в пределах этих территорий.

Применение описанной интегральной характеристики затопления позволяет обоснованно выполнить перспективное прогнозирование ситуации в пространственно-временных координатах и оценку экологического риска при реализации тех или иных организационно-технических мероприятий в рамках ликвидации шахты.

Для предотвращения потенциально опасных ситуаций при ликвидации угольных шахт необходимо:

— в рамках прогнозирования динамики подземной гидросферы выполнять детальные инструментальные исследования строения углевмещающего массива с целью выявления природных и техногенных пустот и каналов;

— разрабатывать «пессимистические» и «оптимистические» сценарии развития событий, что позволит минимизировать риски ошибочных решений.

Прогнозное заключение, содержащее оценку развития анализируемых техногенных и экологических процессов в случае реализации одного из вариантов организационно-технических мероприятий, является концентрированным выражением информационной поддержки принятия управленческого решения. Прогноз разрабатывается с использованием фундаментальных принципов и методических подходов, разработанных авторами и описанных в ранее опубликованных работах [16, 17]. В процессе прогнозирования разрабатываются возможные варианты развития событий, рассчитываются вероятности того или иного варианта развития процесса и надежность прогноза. Для разработки плана технических мероприятий ликвидации или снижения негативных экологических последствий

where $h_{нач}$ is the initial depth of flooding, m; x is the normalized time.

Joint analysis of experimental data and geological conditions in other coal basins indicates the possibility of using the described approach to study the processes of flooding within these areas.

The application of the described integral characteristics of flooding let us reasonably perform the forecasting of the situation in spatial-temporal coordinates and ecological risk assessment in the implementation of certain organizational and technical measures during mine abandonment.

To prevent potentially dangerous situations in the liquidation of coal mines it is necessary:

— as part of forecasting of the underground hydrosphere dynamics to perform a detailed instrumental examination of the structure coal-bearing mass to identify natural and man-made vuggs and channels;

— to develop a "pessimistic" and "optimistic" scenarios of events development that will minimize the risks of wrong decisions.

A forecast report containing the assessment of the development of the analyzed anthropogenic and ecological processes in the case of one of the variants of organizational and technical measures implementation is a concentrated expression of information support of management decisions. The forecast is developed using the fundamental principles and methodological approaches developed by the authors and described in the previously published papers [16, 17]. The forecasting process develops possible scenarios, calculates the probability of one or another option of process development and the reliability of the forecast. To develop a plan for technical measures to eliminate or reduce the negative environmental impacts it is necessary to carry out the prediction of spatial and temporal characteristics of all expected events. In the first turn the val-

необходимо выполнить прогнозирование пространственно-временных характеристик всех ожидаемых событий. При этом в первую очередь рассчитываются показатели, связанные с поведением подземной гидросферы: объемы выработанного пространства, скорости и уровни подъема шахтных вод, расход загрязненных вод в поверхностные водоемы, допустимый объем излива шахтных вод на поверхность. На каждом этапе производится общая оценка состояния ПТС посредством расчета экологических критериев.

Одним из основных аспектов выполнения экспериментов является выбор и всесторонняя оценка технико-технологических средств получения фактической информации. В указанном плане были изучены и испытаны различные приборы и системы. На основании анализа результатов исследований была выбрана система регионального мониторинга, которая позволяет получать достоверные материалы в режиме реального времени синхронно на всей территории. Преимущество мониторинговой системы перед другими средствами состоит в возможности взаимоувязанной работы систем наблюдения, обработки и анализа результатов. Данное качество мониторинга обеспечивается использованием свойств системности, синтеза, синергии методов и прогнозов [18].

Заключение. Изложены основные подходы к методологии прогнозирования экологической безопасности на стадии ликвидации неперспективных угольных шахт. Эколого-экономическая эффективность описанной теории подтверждена результатами внедрения методики в практику научно-технического сопровождения ликвидационных работ на территории Ростовской области.

Предлагаемая методология, в том числе технологии и средства реализации, может быть использована во всех угольных регионах России, поскольку разработка выполнена на основе фундаментальных физико-математических, экологических и геологических положений с учетом конкретных горно-геологических, геомеханических и гидрогеологических условий.

ues associated with the behavior of underground hydrosphere are calculated: the volume of mined-out space, speed and levels of mine water rise, amount of contaminated water in surface reservoirs, the permissible amount of mine waters coming out to the surface. At each stage, the overall assessment of the status of NTS is conducted through the calculation of the ecological criteria.

One of the main aspects of performing experiments is the selection and comprehensive evaluation of technical and technological means of obtaining factual information. In the plan the authors have studied and tested various devices and systems. Basing on the analysis of research results they selected the system of regional monitoring, which allows obtaining reliable information in real time in all the areas simultaneously. The advantage of the monitoring system to other tools is the ability of interconnected operation of systems of monitoring, processing and analysis of results. The quality of monitoring is provided by using the properties of consistency, synthesis, synergy of methods and predictions [18].

Conclusion. The paper contains the basic approaches to the methodology of environmental safety forecasting at the stage of unviable coal mines. Ecological-economic efficiency of the described theory is confirmed by the results of implementation of the methodology in practice of scientific and technical support of abandonment operations in Rostov region.

The proposed methodology, including technology and means of implementation, can be used in all coal regions of Russia, as the development is made on the basis of fundamental physical-mathematical, geological and environmental provisions, taking into account specific mining and geological, geomechanical and hydrogeological conditions.

Библиографический список

1. Молев, М. Д. Основные аспекты методологии проведения геофизических исследований при оценке геоэкологической ситуации в угледобывающих районах / М. Д. Молев // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 11. — С. 97–99.

2. Мохов, А. В. Влияние затопления каменноугольных шахт на динамику пустотного пространства в угленосном массиве / А. В. Мохов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 3. — С. 196–205.

3. Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Вос-точного Донбасса / под ред. В. М. Еремеева. — Шахты : Изд-во ЮРО АГН, 2001. — 182 с.

4. Смирнов, А. М. Организация мониторинга отрицательных техногенных воздействий предприятий угольной промышленности / А. М. Смирнов // Уголь. — № 7. — 2001. — С. 38–42.

5. Норватов, Ю. А. Гидрогеологические проблемы ликвидации шахт в Восточном Донбассе / Ю. А. Норватов, И. Б. Петрова, А. С. Миронов. — СПб : ВНИМИ, 2002. — 155 с.

6. Голик, В. И. Повышение полноты использования недр путем глубокой утилизации отходов обогащения угля / В. И. Голик, С. А. Масленников, С. Г. Страданченко // Горный журнал. — 2012. — № 9. — С. 91–95.

7. Зайденварг, В. Е. Гидрогеологические аспекты ликвидации шахт в России / В. Е. Зайденварг, А. М, Навитний, В. Ф. Твердохлебов // Уголь. — 1999. — № 12. — С. 43–47.

8. Молев, М. Д. Теория и практика управления региональной экологической без-

References

1. Molev M.D. Osnovnye aspekty metodologii provedeniya geofizicheskikh issledovaniy pri otsenke geoekologicheskoy situatsii v ugledobyvayushchikh rayonakh. [Key aspects of the geophysical method-ology in the evaluation of the geoecological situation in coal-mining areas.] Gornyy informatsionno-analiticheskiy bulleten’, 2011, no. 11, pp. 97-99 (in Russian).

2. Mokhov A.V. Vliyanie zatopleniya kamneugol’nykh shakht na dinamiku pustotnogo pros-transtva v uglenosnom massive. [The impact of flooding of coal mines on the dynamics of void space in the coal-bearing massif.] Gornyy informatsionno-analiticheskiy bulleten’, 2008, no. 3, pp. 196-205 (in Russian).

3. Eremeeva V.M. ed. Ekologicheskiy monitoring likvidatsii neperspektivnykh shakht Vostochnogo Donbassa. [Environmental monitoring of unviable mines in Eastern Donbass.] Shakhty: Izda-tel’stvo JURO AGN, 2001, 182 p. (in Russian).

4. Smirnov A.M. Organizatsiya monitoringa otritsatel’nykh tekhnogennykh vozdeystviy predpri-yatiy ugol’noy promyshlennosti. [The organization of monitoring of negative technogenic impacts of the coal industry.] Ugol’, 2001, no. 7, pp. 38 – 42 (in Russian).

5. Norvatov Y.A., Petrova I.B., Mironov A.S. Gidrogeologicheskie problemy likvidatsii shakht v Vostochnom Donbasse. [Hydrogeological problems of liquidation of mines of East Donbass.] Saint Pe-tersburg: VNIMI, 2002, 155 p. (in Russian).

6. Golik V.I., Maslennikov S.A., Stradanchenko S.G. Povyshenie polnoty ispol’zovaniya nedr putem glubokoy utilizatsii otkhodov obogasheniya uglya. [Increasing the efficiency of the subsoil by means of deep disposal of tailings.] Gornyy zhurnal, 2012, no. 9, pp. 91-95 (in Russian).

7. Zaidenvarg V.E., Navitniy A.M., Tverdokhlebov V.F Gidrogeologicheskie aspekty likvidatsii shakht v Rossii. [Hydrogeological aspects of the elimination of mines in Russia.] Ugol’, 1999. no. 12, pp. 43-47 (in Russian).

8. Molev M.D., Molev A.M. Teoriya i praktika upravleniya regional’noy ekologicheskoy be-

опасностью / М. Д. Молев, А. М. Молев. — Шахты : ЮРГУЭС, 2006. — 86 с.

9. Голик, В. И. Обеспечение экологической безопасности техногенных отходов / В. И. Голик, С. А. Масленников, А. Ю. Прокопов // Научное обозрение. — 2014. — № 9. — С. 726–729.

10. Молев, М. Д. Методология контроля и прогнозирования состояния углепородного массива / М. Д. Молев // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 9. — С. 159–162.

11. Розенберг, Г. С. Экологическое прогнозирование / Г. С. Розенберг, В. К. Шитиков, П. М. Брусиловский. — Тольятти : Экологический институт РАН, 1994. — 270 с.

12. Винограй, Э. Г. Интегральные системные качества как характеристические грани целостного анализа сложных объектов / Э. Г. Винограй // Социогуманитарный вестник. — 2011. — № 6. — С. 118–128.

13. Бестужев-Лада, И. В. Рабочая книга по прогнозированию / И. В. Бестужев-Лада. — Москва : Мысль, 1982. — 430 с.

14. Меркулов, М. А. Оценка воздействия предприятий на окружающую среду с использованием комплекса природно-экономических моделей / М. А. Меркулова, М. Д. Молев // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 3. — С. 133–137.

15. Верзилов, М. И. Анализ изменений гидрогеологических условий, вызванных затоплением закрываемых шахт / М. И. Верзилов, М. Ф. Шиловский. — Москва : Изд-во ННЦ ИГД им. А.А. Скочинского, 1999. — 85 с.

16. Молев, М. Д. Прогнозирование состояния техносферной безопасности / М. Д. Молев [и др.]. — Шахты : ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2015. — 113 с.

zopasnost'yu. [Theory and practice of management of regional environmental security.] Shakhty: YUR-GUES, 2006. 86 p. (in Russian).

9. Golik V.I., Maslennikov S.A., Prokopov A.Y. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti tekhnogennykh otkhodov. [Ensuring environmental safety of technogenic wastes.] Nauchnoe obozrenie, 2014, no. 9, pp. 726-729 (in Russian).

10. Molev M.D. Metodologiya kontrolya i prognozirovaniya sostoyaniya ugleporodnogo massiva. [The methodology of monitoring and predicting the state of coal-rock mass.]
Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten', 2007, no. 9, p. 159-162 (in Russian).

11. Rozenberg G.S., Shitikov V.K., Brusilovsky P.M. Ekologicheskoe prognozirovanie. [Ecologi-cal forecasting.] Togliatti: Ekologicheskiy institut, 1994, 270 p (in Russian).

12. Vinogray E.G. Integral'nye sistemy kachestva kak kharakteristicheskie grani tse-lostnogo ana-liza slozhnykh ob'ektov. [Integral quality systems as characteristic facets of the holistic analysis of com-plex objects.] Sotsiogumanitarnyy vestnik, 2011, no. 6, pp. 118-128 (in Russian).

13. Bestuzhev-Lada I.V. Rabochaya kniga po prognozirovaniyu. [Workbook on forecasting.] – Moscow: Mysl', 1982, 430 p (in Russian).

14. Merkulova M.A., Molev M.D. Otsenka vozdeystviya predpriyatiy na okruzhayushchyuu sredu s ispol'zovaniem kompleksa prirodno-ekonomicheskikh modeley. [Assessment of impact of enterprises on the state of the environment using a natural-economic models complex.] Gornyy informatsionno-analiticheskiy bulleten', 2013, no. 3, pp. 133-137 (in Russian).

15. Verzilov M.I., Shilovsky M.F. Analiz izmeneniy gidrogeologicheskikh usloviy, vyzvannykh zatopleniem zakryvaemykh shakht. [Analysis of changes in hydrogeological conditions caused by flood-ing of closed mines.] Moscow: Izdatel'stvo NNTS IGD im. Skochinskogo A.A., 1999, 85 p. (in Russian).

16. Molev M.D., Maslennikov S.A., Zanina I.A., Stuzhenko N.I. Prognozirovanie sostoyaniya tekhnosfernoy bezopasnosti. [Prediction of the state of techno-sphere security.] Shakhty:

17. Molev, M. D. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technosperic / M. D. Molev, S. G. Stradanchenko, S. A. Maslennikov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2015. — № 16. — P. 6787–6788.
18. Молев, М. Д. Использование синергетических возможностей геофизических методов при прогнозировании результатов техногенных воздействий / М. Д. Молев, С. Г. Страданченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 3. — С. 306–313.

Institute of ser-vice sector and entrepreneurship (branch) DSTU, 2015, 113 p. (in Russian).
17. Molev M.D., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technosperic. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2015, no. 16, pp 6787-6788.
18. Molev M.D., Stradanchenko S.G. Ispol'zovanie sinergeticheskikh vozmozhnostey geofizicheskikh metodov pri prognozirovanii rezul'tatov tekhnogennykh vozdeystviy. [The use of the synergetic possibilities of geophysical methods in predicting the results of technogenic influences.] Gornyy informatsionno-analiticheskiy bulleten' 2016, no. 3, p. 306-313 (in Russian).

Поступила в редакцию 15.11.2016
Сдана в редакцию 15.11.2016
Запланирована в номер 15.12.2016

Received 15.11.2016
Submitted 15.11.2016
Scheduled in the issue 15.12.2016

Молев Михаил Дмитриевич,
Доктор технических наук, профессор
профессор кафедры «Строительство и техносферная безопасность» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета (ДГТУ) (РФ, г. Шахты, ул. Шевченко,147) 2playrnd14716@aaanet.ru

Масленников Станислав Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
Заведующий кафедрой «Строительство и техносферная безопасность» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета (ДГТУ) (РФ, г. Шахты, ул. Шевченко,147), maslennikovsa@mail.ru

Mikhail Dmitrievich Molev,
Doctor of technical Science, Professor,
Construction and technosphere safety Department, Institute of service sector and entrepreneurship (branch), Don State Technical University Shakhty, Russian Federation
2playrnd14716@aaanet.ru

Irina Nikolaevna Kokunko, Candidate of technical Science, Associate Professor, Head of the construction and technosphere safety Department, Institute of service sector and entrepreneurship (branch), Don State Technical University Shakhty, Russian Federation
maslennikovsa@mail.ru